

10/85 104
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 10 2004 008 250.2

Anmeldetag: 19. Februar 2004

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Bestimmung der Rotorlage
eines Synchronmotors

IPC: H 02 P 6/18

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

6401

Beschreibung

Verfahren zur Bestimmung des Rotorlage eines Synchronmotors

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Rotorlage eines Synchronmotors.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner einen Datenträger mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.

10

Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin einen Rechner mit einem Programmspeicher, in dem ein Computerprogramm hinterlegt ist, so dass bei Aufruf des Computerprogramms von dem Rechner ein derartiges Verfahren ausführbar ist.

15

Ferner betrifft die vorliegende Erfindung eine Werkzeug- oder Produktionsmaschine mit einem wie oben aufgeführten Rechner, wobei der Rechner als Steuerungs- oder Regelungseinrichtung ausgebildet ist.

20

Es existieren zahlreiche handelsübliche Verfahren mit denen die Lage des Rotors des Synchronmotors im Bezug auf den Stator des Synchronmotors bestimmt werden kann, um die elektrische Kommutierung des Motors auch ohne Positionsinformation von einem Positionsmessgerät zu ermöglichen. Viele dieser Verfahren beruhen auf aufwendigen Messungen der Induktivitäten des Motors, oder auf der Messung und Auswertung der elektromotorischen Gegenkraft. Solche Verfahren erlauben es, einen Synchronmotor ganz ohne Positionsmessgerät zu betreiben.

25

30

Will man lediglich zum Anfahren oder bei der Inbetriebnahme des Synchronmotors den Rotorlagewinkel bestimmen, etwa um einen Offset zwischen dem Nullpunkt des Positionsmessgerätes und Rotor zu bestimmen oder um den Motor zu einem Referenz-

35

punkt zu fahren, so genügen einfachere Verfahren zur Bestimmung des Rotorlage.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 102 15 428 A1 ist
 5 ein Verfahren zur Bestimmung der Rotorlage eines Synchronmotors bekannt, wobei eine Vielzahl von Stromvektoren an den Synchronmotor in unterschiedlichen Richtungen angelegt werden und dabei der zum Erzielen einer definierten Auslenkung des Rotors nötige Betrag des Stromvektors ermittelt wird und an-
 10 schließend eine Berechnung der Rotorlage aus wenigstens einer Winkelposition des Stromvektors, bei der der zum Erzielen der definierten Auslenkung des Rotors nötige Betrag des Stromvektors minimal ist, durchgeführt wird. Da insbesondere in einem Bereich um den minimalen Betrag des Stromvektors der Funkti-
 15 onsverlauf der Beträge der Stromvektoren sehr flach ist und in der Praxis die gemessenen Beträge mit Störungen überlagert sind, ist eine genaue Bestimmung der Rotorlage mit diesem Verfahren nur unzureichend möglich.

20 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Bestimmung der Rotorlage eines Synchronmotors zu schaffen, dass trotz Störungen und flachem Verlauf der Beträge der Stromvektoren eine genaue Bestimmung der Rotorlage ermöglicht.

25 Diese Aufgabe wird gelöst, durch ein Verfahren zur Bestimmung der Rotorlage eines Synchronmotors, bestehend aus folgenden Schritten:

- 30 - Anlegen einer Vielzahl von Stromvektoren an den Synchronmotor in unterschiedlichen Richtungen und Ermittlung der zum Erzielen einer definierten Auslenkung des Rotors jeweils notwendigen Beträge der Stromvektoren,
- Bestimmung der Kehrwerte der Beträge der Stromvektoren,
- 35 - Bestimmung der Fourierkoeffizienten der ersten Harmonischen der Kehrwerte der Beträge der Stromvektoren mittels digitaler Filterung über mehrere Kehrwerte,

- Berechnung der Rotorlage des Synchronmotors anhand der Fourierkoeffizienten.

Eine erste vorteilhafte Ausbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich einer negativen Auslenkung des Rotors, die Kehrwerte der Beträge der Stromvektoren negiert werden, bevor die Bestimmung der Fourierkoeffizienten erfolgt. Hierdurch ist gewährleistet, dass auch die Beträge der Stromvektoren, die im Bereich einer negativen Auslenkung des Rotors gemessen werden, zur Ermittlung der Rotorlage des Synchronmotors verwendet werden können.

Ferner erweist es sich als vorteilhaft, wenn die Bestimmung der Fourierkoeffizienten der ersten Harmonischen der Kehrwerte der Beträge der Stromvektoren mittels digitaler Filterung über alle Kehrwerte erfolgt, hierdurch ist eine besonders genaue Ermittlung der Rotorlage sichergestellt.

Weiterhin erweist es sich als vorteilhaft, wenn die Bestimmung der Fourierkoeffizienten der ersten Harmonischen der Kehrwerte der Beträge der Stromvektoren mittels digitaler Filterung über mehrerer Kehrwerte ausschließlich für Kehrwerte in einem Bereich einer negativen Auslenkung des Rotors erfolgt. Hierdurch wird gegenüber einer Auswertung, die alle Kehrwerte einschließt, eine Minimierung der Rechenzeit erreicht.

Ferner erweist es sich als vorteilhaft, wenn die Bestimmung der Fourierkoeffizienten der ersten Harmonischen der Kehrwerte der Beträge der Stromvektoren mittels digitaler Filterung über mehrerer Kehrwerte, ausschließlich in einem Bereich einer positiven Auslenkung des Rotors erfolgt. Hierdurch wird gegenüber einer Auswertung, die alle Kehrwerte einschließt, eine Minimierung der Rechenzeit erreicht.

Ferner erweist es sich als vorteilhaft, dass als erster Schritt eine den Rotor des Synchronmotors haltende Bremse

eingelegt wird. Mit Hilfe einer Bremse kann das Verfahren unabhängig vom sonstigen mechanischen Aufbau des Synchronmotors und der übrigen mechanischen Gegebenheiten durchgeführt werden.

5

Für die Durchführung des Verfahrens erweist es sich als günstig, wenn ein Datenträger mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen ist.

10

Ferner erweist es sich als vorteilhaft, dass ein Rechner mit einem Programmspeicher vorgesehen ist, in dem ein Computerprogramm hinterlegt ist, so dass bei Aufruf des Computerprogramms von dem Rechner das erfindungsgemäße Verfahren ausführbar ist.

15

Weiterhin erweist es sich als vorteilhaft, dass der Rechner als Steuerungs- oder Regelungseinrichtung ausgebildet ist.

20 Ferner erweist es sich als vorteilhaft eine Werkzeug- oder Produktionsmaschine mit einer solchen Steuerungs- oder Regelungseinrichtung auszubilden.

25

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher erläutert. Dabei zeigen

FIG 1 ein Blockschaltbild einer Antriebseinheit mit Synchronmotor,

30 FIG 2 ein Zeigerdiagramm,

FIG 3 einen Verlauf der Beträge der Stromvektoren,

FIG 4 einen Verlauf der Beträge der Stromvektoren, den diesbezüglichen Verlauf der Kehrwerte und einen Verlauf der Auslenkung und

35 FIG 5 eine Werkzeug- oder Produktionsmaschine in einer schematisierten Ansicht.

FIG 1 zeigt eine Antriebseinheit mit einem Synchronmotor 2, der über eine Steuerungseinrichtung 1 angesteuert wird. Die Rotorlage des Synchronmotors 2, die in dem Ausführungsbeispiel in Form eines Rotorlagewinkels ρ gegeben ist, wird über ein Positionsmessgerät 3 gemessen, das beispielsweise in Form eines inkrementalen Drehgebers vorliegen kann, der erst nach dem Überfahren eines Referenzpunktes die Berechnung absoluter Positionswerte erlaubt. Das Positionsmessgerät 3 ist mit der Welle 4 des Synchronmotors 2 verbunden. Da die Welle 4 starr mit dem Rotor des Synchronmotors 2 verbunden ist, kann aus der Lage der Welle 4 auf den Rotorlagewinkel ρ des Rotors geschlossen werden. Auf die Welle 4 kann bei Bedarf eine Bremse 5 wirken. Solche mechanischen oder elektrischen Bremsen 5 dienen üblicherweise dazu, Bewegungsvorgänge im Notfall schnell abzubremesen oder hängende Achsen im stromlosen Zustand zu halten. Die Bremse 5 kann über die Steuerungseinrichtung 1 aktiviert werden. Über die Welle 4 wird eine Nutzlast 6 angetrieben. Dies kann z.B. die Werkzeugspindel einer Werkzeug- oder Produktionsmaschine sein oder auch eine lineare Achse der Werkzeugmaschine, die über eine Spindel angetrieben wird. Die Antriebseinheit könnte aber auch genauso gut zum Antrieb einer Produktionsmaschine oder irgend einer anderen Maschine verwendet werden.

FIG 2 zeigt die Wirkrichtungen der Magnetfelder und des eingprägten Stromvektors \underline{I} in Form eines Vektordiagramms. Bei einer permanenterregten Synchronmaschine besitzt das Magnetfeld des Rotors eine Hauptwirkungsrichtung \underline{d} , die sich mit dem Rotor dreht. Das Magnetfeld wird z.B. mit Hilfe von permanenten Magneten, die sich auf dem Rotor befinden, erzeugt. Um eine Kraft zu erzeugen, muss der Stromvektor \underline{I} , der z.B. in Form eines Stromraumzeigervektors vorliegen kann, in Richtung \underline{q} senkrecht zum magnetischen Feld in die Statorwicklungen eingprägt werden. Da die magnetische Induktion durch die Permanentmagnete des Rotors fest eingprägt ist, benötigt z.B. eine feldorientierte Regelung zu jedem Zeitpunkt die Kenntnis des aktuellen Rotorlagewinkels ρ . Üblicherweise ver-

fügen die Maschinen über ein Positionsmessgerät in Form eines Gebers mit inkrementellen Spuren. Da der Geber über keinen Absolutmaßstab verfügt, muss vor einem geregelten Anfahren des Motors eine Anfangslage p_0 des Rotorlagewinkels p bestimmt werden.

Ein 360° -Umlauf im Vektordiagramm gemäß FIG 2 entspricht dabei einem elektrischen 360° -Umlauf. Bei einer mehrpoligen Maschine kann ein mechanischer 360° -Umlauf gegebenenfalls mehrere elektrische 360° -Umläufe bedeuten. An dieser Stelle sei angemerkt, dass sich alle angegebenen Winkel auf den elektrischen Umlauf beziehen. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass ein Synchronmotor anstatt in rotatorischer Form selbstverständlich auch in Form eines Linearmotors vorliegen kann. In diesem Falle werden lediglich die Winkel auf eine Linearachse umgerechnet. Auch ist es für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens unerheblich ob die Permanentmagnete auf Rotorseite wie im Ausführungsbeispiel oder auf Statorseite angeordnet sind und der Stromvektor rotorseitig eingeprägt wird.

Der Rotorlagewinkel p_0 des ruhenden Motors soll nun im folgenden durch das erfindungsgemäße Verfahren bestimmt werden. Wird bei aktivierter Bremse 5 (siehe FIG 1) eine Vielzahl von Stromvektoren \underline{I} mit unterschiedlicher Winkellage φ (siehe FIG 2) an den Synchronmotor 2 angelegt und für jeden dieser Stromvektoren \underline{I} der Betrag I des Stromvektors \underline{I} der nötig ist um eine kleine definierte Auslenkung $\Delta\beta$ des Rotors gegen die Haltekraft der Bremse zu erzielen, so ergibt sich ein Kurvenverlauf gemäß FIG 3, mit zwei Minima der Beträge I der Stromvektoren \underline{I} , die jeweils um 90° versetzt vor und nach dem gesuchten Rotorlagewinkel p_0 liegen. In etwa an der Stelle des gesuchten Rotorlagewinkel p_0 ändert die Auslenkung $\Delta\beta$ des Rotors ihre Richtung von negativen Werten zu positiven Werten hin.

Der Stromvektor \underline{I} ist dabei gegeben durch die Beziehung

$$\underline{I}(\varphi - \rho_0) = I \cdot \sin(\varphi - \rho_0) \quad (0)$$

Das Drehmoment eines Synchronmotors im Spannungsstellbereich
 5 ist proportional zum Strombetrag I und dem Sinus des Winkels
 φ des Stromvektors bezogen auf die Hauptwirkungsrichtung \underline{d}
 des Magnetfeldes des Rotors gemäß FIG 1. Für das Drehmoment
 der Synchronmaschine gilt somit:

$$10 \quad m_1 = k_1 \cdot I \cdot \sin(\varphi - \rho_0) \quad (1)$$

wobei m_1 das Drehmoment ist und k_1 die Motorkonstante dar-
 stellt, die sich aus den mechanischen und elektrischen Aufbau
 des Motors ergibt.

15

Das Rückstellmoment m_2 der gebremsten Achse ist durch die Be-
 ziehung

$$m_2 = k_2 \cdot \Delta\beta \quad (2)$$

20

gegeben, wobei k_2 die Federkonstante und $\Delta\beta$ die Auslenkung,
 welche mit dem Positionsmessgerät gemessen wird, ist.

25

Im eingeschwungenen Zustand sind die beiden Drehmomente iden-
 tisch, so dass gilt

$$k_1 \cdot I \cdot \sin(\varphi - \rho_0) = k_2 \cdot \Delta\beta \quad (3)$$

30

Grundidee der Messung liegt darin, dass der jeweilige Betrag
 I jedes Stromvektors \underline{I} solange erhöht wird, bis die Auslegung
 $\Delta\beta$ einen vordefinierten Wert erreicht. In diesem stationären
 Zustand kann man die Konstanten k_1 , k_2 und $\Delta\beta$ zu einer Kon-
 stanten K zusammenfassen. Danach lässt sich die Beziehung 3
 vereinfachen zu:

35

$$I(\varphi - \rho_0) = K \cdot \frac{1}{\sin(\varphi - \rho_0)} \quad (4)$$

Die Beträge $I(\varphi - \rho_0)$ der Stromvektoren \underline{I} über dem Winkel $\varphi - \rho_0$ sind in FIG 3 dargestellt.

Wie in FIG 3 zu erkennen ist, ist eine Auswertung des Strom-
 5 minimums, wie sie in der DE 102 15 428 A1 vorgeschlagen wird, wegen des flachen Kurvenverlaufs um die Minimumstelle und wegen der kleinen Stromwerte, problematisch. Hinzu kommt, dass bei einer realen Messung, im Gegensatz zu den hier gezeigten Messpunkten, diese oft mit Rauschen und Störgrößen überlagert
 10 sind, so dass die gemessenen Minima nicht unbedingt mit den realen Minima übereinstimmen müssen. Da weiterhin z.B. nur alle 5° ein Strombetrag ermittelt wird, kann der gesuchte Rotorlagewinkel ρ_0 auch zwischen zwei benachbarten Messwerten liegen, sodass sich auch hierdurch Fehler in der Bestimmung
 15 des Rotorlagewinkels ρ_0 ergeben. An diesen hier aufgeführten Nachteilen ändert auch die in der DE 102 25 428 A1 vorgeschlagenen Mittelung der beiden Minima nichts.

Entgegen der Lehre der DE 102 15 428 A1 wird in der vorlie-
 20 genden Erfindung ein völlig anderer Auswerteweg beschritten.

In FIG 4 ist die Wirkungsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. In FIG 4 ist hierzu zunächst noch einmal
 25 der Verlauf der Beträge $I(\varphi - \rho_0)$ der Stromvektoren \underline{I} über dem Winkel $\varphi - \rho_0$ aufgezeichnet. Dieser entspricht der in FIG 3 gezeigten Kurve der Beträge I der Stromvektoren \underline{I} . In einem ersten Schritt wird nun erfindungsgemäß die Kehrwerte der Beträge der Stromvektoren ermittelt. Der Kehrwerte $1/I(\varphi - \rho_0)$ ergeben sich dann zu

$$\frac{1}{I(\varphi - \rho_0)} = \frac{1}{K} \cdot \sin(\varphi - \rho_0) \quad \text{für} \quad \Delta\beta \geq 0 \quad (5)$$

$$\frac{1}{I(\varphi - \rho_0)} = -\frac{1}{K} \cdot \sin(\varphi - \rho_0) \quad \text{für} \quad \Delta\beta < 0 \quad (6)$$

Im Bereich negativer Auslenkungen $\Delta\beta$ erfolgt zusätzlich eine Negation der Kehrwerte der Beträge der Stromvektoren. In dem Ausführungsbeispiel ist die Auslenkung $\Delta\beta$ in einem Bereich von 45° bis 225° positiv und in einem Bereich von 225° bis 45° negativ, wie FIG 4 zeigt. Entsprechend wurde in dem Ausführungsbeispiel im Bereich zwischen 45° und 225° nur die Kehrwerte gebildet, während im Bereich von 225° bis 45° die Kehrwerte zusätzlich noch negiert wurden. Hierdurch wird erreicht, dass der Verlauf der Kehrwerte $1/I(\varphi-\rho_0)$ einen sinusförmigen Verlauf annimmt. Neben den Verlauf der Beträge $I(\varphi-\rho_0)$ der Stromvektoren \underline{I} über dem Winkel $\varphi-\rho_0$ sind in FIG 4 der Verläufe der Kehrwerte $1/I(\varphi-\rho_0)$ und die Beträge $I(\varphi-\rho_0)$ der Stromvektoren \underline{I} sowie der Verlauf der Auslenkung $\Delta\beta$ über dem Winkel $\varphi-\rho_0$ eingezeichnet. Der zu jedem Verlauf jeweils zugehörige Nullpunkt der Ordinate ist ebenfalls eingezeichnet. Der obere Nullpunkt gehört dabei zum Verlauf der Auslenkung $\Delta\beta$, der mittlere Nullpunkt gehört zum Verlauf der Kehrwerte $1/I(\varphi-\rho_0)$ und der untere Nullpunkt gehört zum Verlauf der Beträge $I(\varphi-\rho_0)$ der Stromvektoren \underline{I} .

In einem nächsten Schritt werden nun die Fourierkoeffizienten a und b der ersten Harmonischen der Kehrwerte der Beträge der Stromvektoren mittels digitaler Filterung über mehrere Kehrwerte ermittelt. Für die digitale Filterung zur Bestimmung der Fourierkoeffizienten a und b sind zahlreiche Verfahren bekannt. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die digitale Filterung zur Bestimmung der Fourierkoeffizienten a und b in Form einer komplexen Fouriertransformation, welche in der Technik allgemeinen bekannt ist, durchgeführt. Die erste Harmonische der Kehrwerte der Beträge der Stromvektoren liegen dann in Form der Beziehung

$$\frac{1}{I(\varphi-\rho_0)} = a \cdot \sin(\varphi-\rho_0) + b \cdot \cos(\varphi-\rho_0) \quad (7)$$

vor, wobei a der Fourierkoeffizient des Realteils und b der Fourierkoeffizient des Imanigärteils ist.

Anschließend kann der gesuchte Rotorlagewinkel ρ_0 aus den Fourierkoeffizienten a und b durch die Beziehung

$$\rho_0 = \arctan\left(\frac{a}{b}\right) \quad (8)$$

5

ermittelt werden. Die Arcustangens-Funktion wird dabei durch Auswertung der Vorzeichen von a und b in allen vier Quadranten richtig bestimmt.

10

Es existieren mehrere Möglichkeiten über welche Kehrwerte digital gefiltert werden soll, d.h. über welche und wie viele Kehrwerte die Fourierkoeffizienten berechnet werden sollen. Wenn das Ergebnis möglichst genau sein soll, so bietet es sich an, alle Kehrwerte zur Berechnung der Fourierkoeffizienten heranzuziehen, d.h. die Filterfensterlänge der digitalen Filterung schließt sämtliche Kehrwerte eines vollen elektrischen 360° -Umlaufs ein. Steht weniger Rechenzeit zur Verfügung oder so lässt sich häufig auch eine ausreichende Bestimmung des Rotorlagewinkels ρ_0 erzielen, in dem das Filterfenster so gewählt wird, dass lediglich in einen Bereich für positive Werte der Auslenkung $\Delta\beta$, die Kehrwerte zur Ermittlung der Fourierkoeffizienten herangezogen werden. Alternativ können natürlich auch nur die für negative Werte der Auslenkung $\Delta\beta$ bestimmten Kehrwerte herangezogen werden.

25

Selbstverständlich können natürlich auch beliebige Untermengen der oben aufgeführten Kehrwerte zur Bestimmung der Fourierkoeffizienten herangezogen werden oder es können Kehrwerte aus beiden Bereichen für die digitale Filterung verwendet werden.

30

Je mehr Kehrwerte zur Bestimmung der Fourierkoeffizienten herangezogen werden, d.h. je größer die Länge des Filterfensters der digitalen Filterung wird, desto genauer lässt sich der Rotorlagewinkels ρ_0 bestimmen. Allerdings nimmt die Rechenzeit für die digitale Filterung ebenfalls zu.

35

Dadurch das eine Vielzahl von Messwerten zur Bestimmung des Rotorlagewinkels ρ_0 herangezogen werden, ist eine genaue Bestimmung des Rotorlagewinkels ρ_0 möglich.

- 5 Wenn der Rotor des Synchronmotors auch ohne Bremse durch eine entsprechendes ohnehin vorhandenes Rückstellmoment z.B. aufgrund von Haftreibung in Ruhestellung gehalten wird, kann das Einlegen einer Bremse zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens entbehrlich sein.

10

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist gemäß FIG 5 ein Rechner 7 mit einem Programmspeicher 8 vorgesehen, in dem ein Computerprogramm 9 hinterlegt ist, so dass bei Aufruf des Computerprogramms 9 von dem Rechner 7 das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt wird. Der Rechner 7 ist dabei in dem Ausführungsbeispiel als eine Regel- oder Steuereinrichtung ausgebildet. Die Regel- oder Steuereinrichtung 7 ist in dem Ausführungsbeispiel gemäß FIG 5 Bestandteil einer Werkzeug- oder Produktionsmaschine 10, wobei selbstverständlich die Werkzeug- oder Produktionsmaschine 10 noch andere Bestandteile aufweist, die jedoch der Übersichtlichkeit halber und da Sie zum Verständnis der Erfindung unwesentlich sind, in FIG 5 nicht dargestellt sind.

15

20

25

Weiterhin kann das Computerprogramm 9 auch auf einem Datenträger 11 gespeichert sein, wobei der Datenträger z.B. als Flash-Karte, Diskette, CD-ROM, DVD oder Festplatte ausgebildet sein kann.

30

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden unter dem Begriff Werkzeugmaschinen z.B. ein- oder mehrachsige Dreh-, Fräs-, Bohr- oder Schleifmaschinen verstanden. Zu den Werkzeugmaschinen werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch noch Bearbeitungszentren, lineare und rotatorische Transfermaschinen, Lasermaschinen oder Wälz- und Verzahnmaschinen gezählt. Allen gemeinsam ist, dass ein Material bearbeitet wird, wobei diese Bearbeitung mehrachsig ausgeführt werden kann. Zu den

35

Produktionsmaschinen werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung z.B. Textil-, Papier-, Kunststoff-, Holz-, Glas-, Keramik- oder Steinbearbeitungsmaschinen gezählt. Maschinen der Umformtechnik, Verpackungstechnik, Drucktechnik, Fördertechnik, Aufzugstechnik, Pumpentechnik, Transporttechnik, Lüfter-
5 technik sowie Windkrafträder, Hebwerkzeuge, Kräne, Roboter, Produktions- und Fertigungsstraßen gehören ebenfalls im Rahmen der vorliegenden Erfindung zu den Produktionsmaschinen.

- 10 Selbstverständlich kann das erfindungsgemäße Verfahren bei beliebigen Synchronmotoren eingesetzt werden und ist nicht auf das Anwendungsgebiet von Werkzeug- oder Produktionsmaschinen beschränkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Rotorlage (p_0) eines Synchronmotors (2), bestehend aus folgenden Schritten:

- 5 - Anlegen einer Vielzahl von Stromvektoren (\underline{I}) an den Synchronmotor (2) in unterschiedlichen Richtungen und Ermittlung der zum Erzielen einer definierten Auslenkung ($\Delta\beta$) des Rotors jeweils notwendigen Beträge (I) der Stromvektoren (\underline{I}),
- 10 - Bestimmung der Kehrwerte ($1/I$) der Beträge (I) der Stromvektoren (\underline{I}),
- Bestimmung der Fourierkoeffizienten (a, b) der ersten Harmonischen der Kehrwerte ($1/I$) der Beträge (I) der Stromvektoren (\underline{I}) mittels digitaler Filterung über mehrere Kehrwerte
- 15 ($1/I$),
- Berechnung der Rotorlage (p_0) des Synchronmotors anhand der Fourierkoeffizienten (a, b).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich einer negativen Auslenkung ($\Delta\beta$) des Rotors, die Kehrwerte ($1/I$) der Beträge (I) der Stromvektoren (\underline{I}) negiert werden, bevor die Bestimmung der Fourierkoeffizienten (a, b) erfolgt.

25 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung der Fourierkoeffizienten (a, b) der ersten Harmonischen der Kehrwerte ($1/I$) der Beträge (I) der Stromvektoren (\underline{I}) mittels digitaler Filterung über alle Kehrwerte ($1/I$) erfolgt.

30 4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung der Fourierkoeffizienten (a, b) der ersten Harmonischen der Kehrwerte ($1/I$) der Beträge (I) der Stromvektoren (\underline{I}) mittels digitaler Filterung

35 über mehrerer Kehrwerte ($1/I$) ausschließlich für Kehrwerte ($1/I$) in einem Bereich einer negativen Auslenkung ($\Delta\beta$) des Rotors erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , dass die Bestimmung der Fourierkoeffi-
zienten (a,b) der ersten Harmonischen der Kehrwerte (1/I) der
Beträge (I) der Stromvektoren (I) mittels digitaler Filterung
5 über mehrerer Kehrwerte (1/I), ausschließlich in einem Be-
reich einer positiven Auslenkung ($\Delta\beta$) des Rotors erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
als erster Schritt eine den Rotor des Synchronmotors (2) hal-
10 tende Bremse (5) eingelegt wird.

7. Datenträger (11) mit einem darauf gespeicherten Computer-
programm (9) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der
Ansprüche 1 bis 6.

8. Rechner (7) mit einem Programmspeicher (8), in dem ein
Computerprogramm (9) hinterlegt ist, so dass bei Aufruf des
Computerprogramms (9) von dem Rechner (7) das Verfahren nach
einem der Ansprüche 1 bis 6 ausführbar ist.

9. Rechner nach Anspruch 8, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , dass der Rechner (7) als Steuerungs- oder
Regelungseinrichtung ausgebildet ist.

10. Werkzeug- oder Produktionsmaschine (10) mit einer Steuer-
oder Regeleinrichtung (7) nach Anspruch 9.

Zusammenfassung

Verfahren zur Bestimmung der Rotorlage eines Synchronmotors

5 Die Erfindung betrifft Verfahren zur Bestimmung der Rotorlage (ρ_0) eines Synchronmotors (2), bestehend aus folgenden Schritten:

- Anlegen einer Vielzahl von Stromvektoren (\underline{I}) an den Syn-
chronmotor (2) in unterschiedlichen Richtungen und Ermitt-
10 lung der zum Erzielen einer definierten Auslenkung ($\Delta\beta$) des
Rotors jeweils notwendigen Beträge (I) der Stromvektoren
(\underline{I}),
- Bestimmung der Kehrwerte ($1/I$) der Beträge (I) der Strom-
vektoren (\underline{I}),
- 15 - Bestimmung der Fourierkoeffizienten (a, b) der ersten Harmo-
nischen der Kehrwerte ($1/I$) der Beträge (I) der Stromvektoren
(\underline{I}) mittels digitaler Filterung über mehrere Kehrwerte
($1/I$),
- Berechnung der Rotorlage (ρ_0) des Synchronmotors anhand der
20 Fourierkoeffizienten (a, b).

Die Erfindung betrifft weiterhin Einrichtungen zur Durchfüh-
rung des Verfahrens. Das erfindungsgemäße Verfahren ermög-
licht eine genaue Bestimmung der Rotorlage (ρ_0) eines Syn-
chronmotors.

25
FIG 4

FIG 1

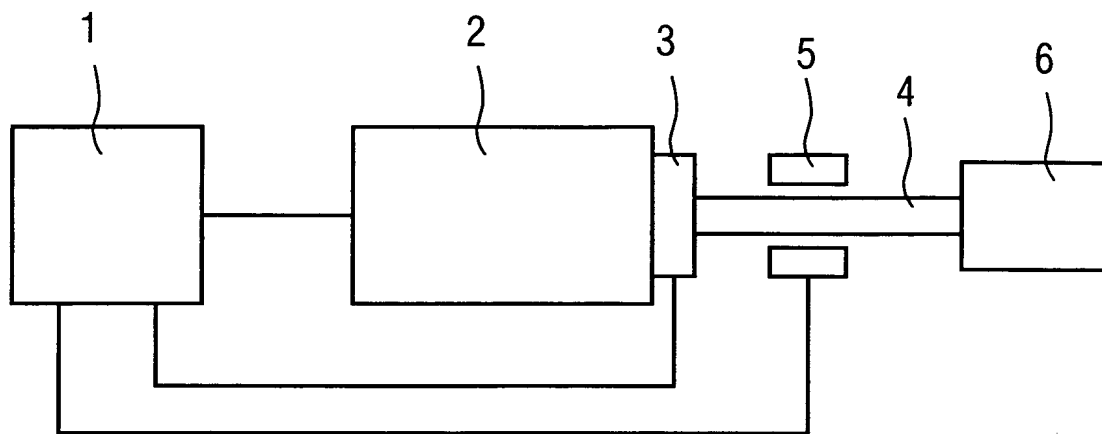


FIG 2

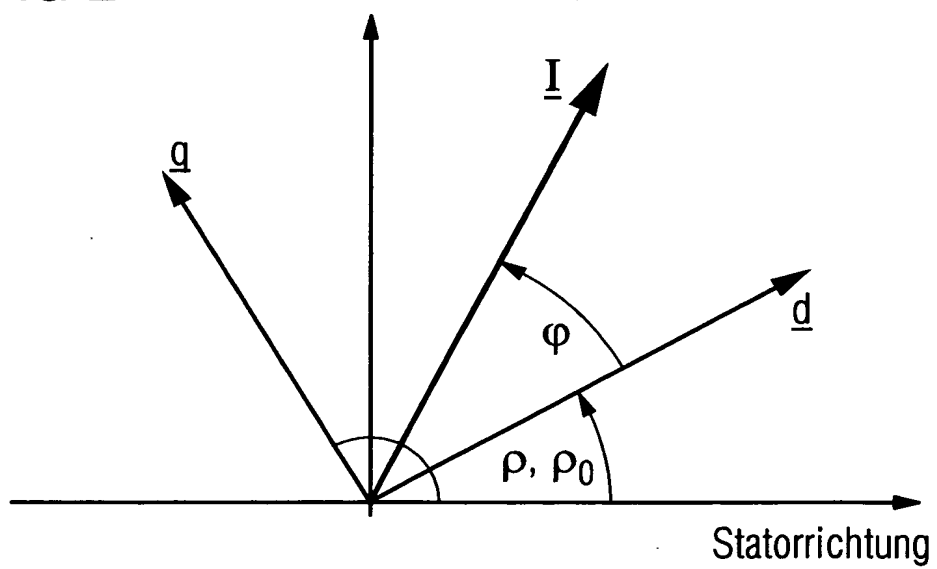


FIG 3

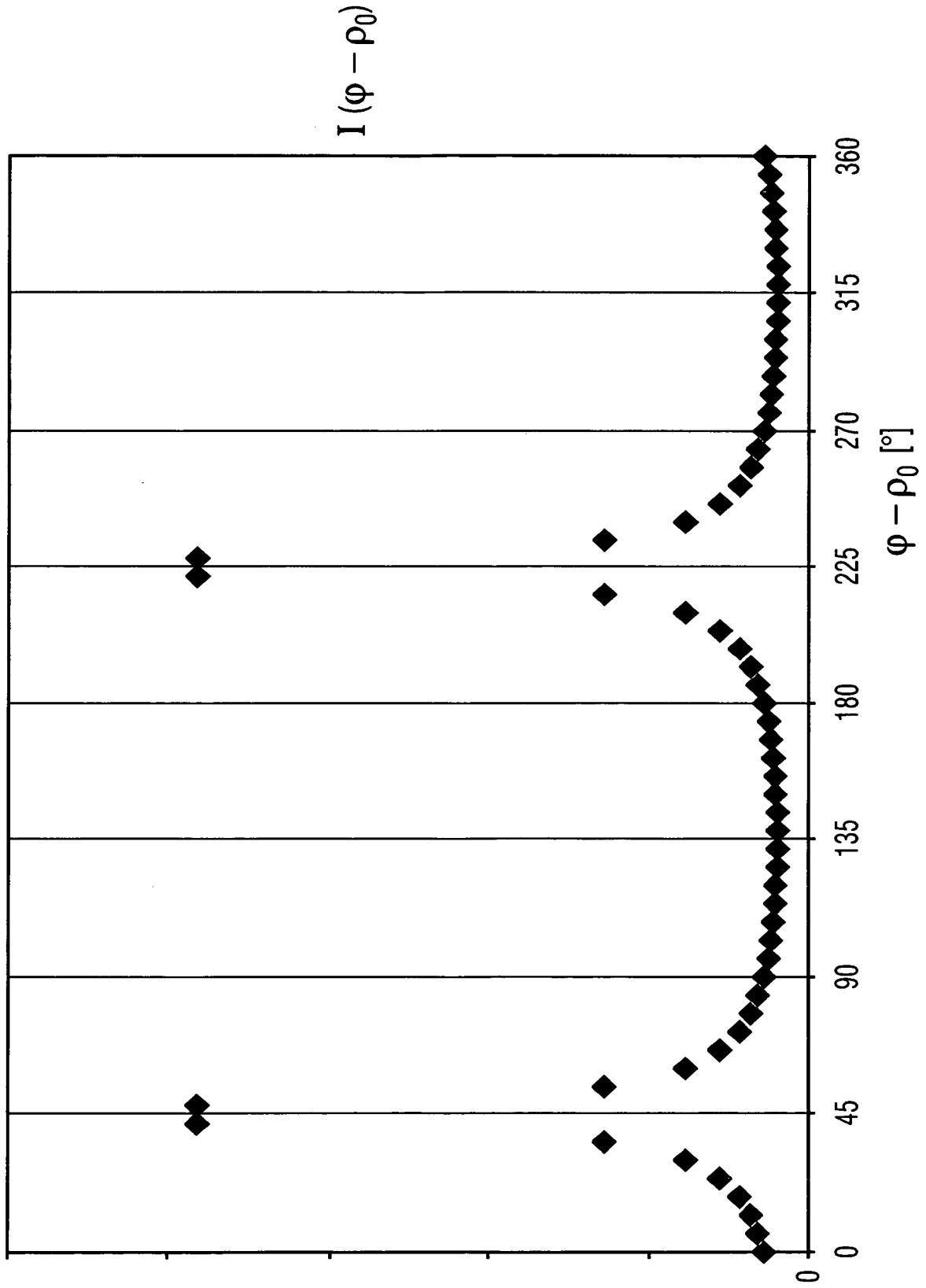


FIG 4

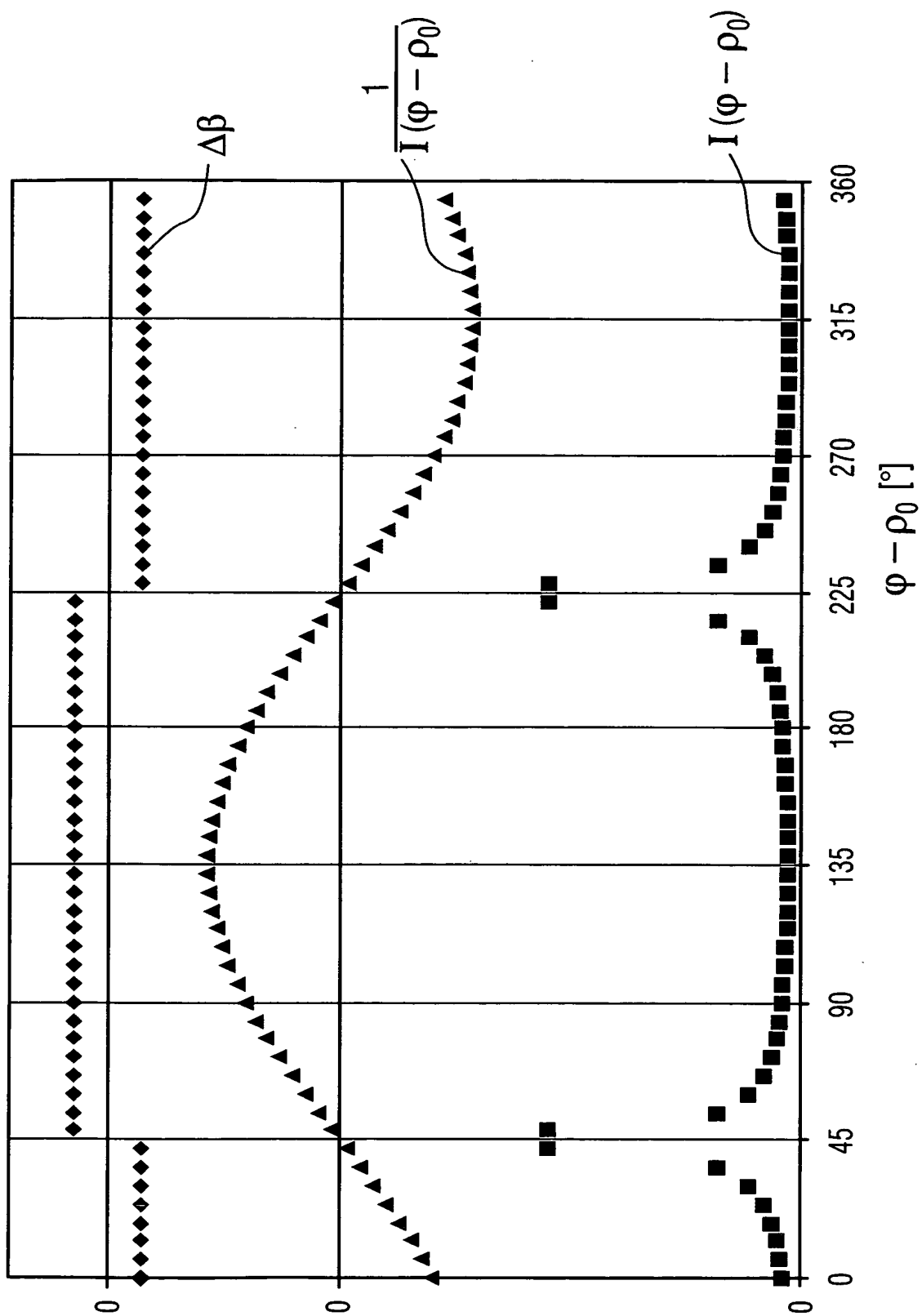


FIG 5

